DOI:10.13866/j.azr.2024.12.14
CSTR:32277.14.AZR.20241214

塔里木河流域生境质量与土地利用变化响应及驱动力

王 洋， 冯卓亚， 许 丽， 高文信
（塔里木大学水利与建筑工程学院，新疆 阿拉尔 843300）

摘 要：了解土地利用变化对生境质量的响应特征及驱动因素可为干旱区生态保护提供科学依据。基于土地利用数据，利用InVEST模型、生境贡献率和地理探测器等方法评估土地利用变化与生境质量响应及其影响因素，并预测2030年的生境质量。结果表明：(1) 土地利用类型以未利用地和草地为主，耕地和建设用地面积分别扩张了10545 km^2和1170 km^2，林地、草地和未利用地面积收缩；(2) 生境质量整体水平偏低，呈持续下降的趋势，空间分布呈边缘高，中部低的特点，草地流入未利用地则生境质量明显降低，反之生境质量则显著提高；(3) 生境质量空间分布主要受高程、温度和降水的影响，且高程与降水的交互作用对流域生境质量解释力最强；(4) 2030年，生态保护情景相较于自然发展情景和经济发展情景优势显著，生境质量有所提高。未来生态保护主要从防治沙漠扩张、保护草地和水资源入手。

关键词：生境质量；土地利用变化；生境贡献率；地理探测器；塔里木河流域

生境质量作为生态文明建设的核心内容之一，在国民经济社会发展中的地位越来越重要，直接影响着社会经济的可持续发展[1-2]。土地利用变化是影响区域生境质量的重要因素之一，它能影响生境斑块间物质和能量交换，改变区域生境分布的格局和功能[3]。因此，研究生境质量与土地利用变化的关系及生境质量的驱动因素，对生态文明建设和可持续发展具有重要意义。

生境质量评估方法包括InVEST模型[4]、MaxEnt模型[5]和SolVES模型[6]等，其中InVEST模型具有数据获取简单、评价结果较准确且能够可视化显示等优点，被广泛应用，用于评估广东省[7]、辽中南城市群[8]、中国西南地区[9]和鄱阳湖流域[10]的生境质量。生境质量对土地利用变化的响应机制可作为生态环境保护和可持续发展的参考，越来越多的学者关注二者的响应特征，如张大智等[11]、赵庆建等[12]分别利用InVEST模型和土地利用转移矩阵分析南四湖流域和岷江流域生境质量对土地利用变化的响应机制；魏文飞等[13]、韩宇等[14]结合InVEST模型和地理加权回归模型分别揭示贵阳市和洞庭湖流域生境质量与土地利用变化的响应关系，结果表明生境用地与生境质量呈正相关关系，非生境用地与生境质量呈负相关关系；赵依谷等[15]基于MGWR模型和InVEST模型评估天目-怀玉山区生境质量对土地利用变化的响应，发现林地和草地的变化与生境质量呈正相关关系。通过分析可知，土地利用与生境质量响应的研究区域主要集中在南部地区，而对生态脆弱的干旱区研究相对不足；研究方法主要集中在两方面，一是分别对土地利用变化和生境质量进行评估，定性分析土地利用变化对生境质量产生的影响，二是利用模型分析各地类面积的变化与生境质量变化的关系，然而各地类间的相互转换对生境质量变化的影响关注较少。

塔里木河流域是中国最大的内陆河流域，也是我国最干旱、生态最为脆弱的区域之一，在保障南疆经济发展和生态恢复中起到关键作用[16]。作为实施西部大开发和丝绸之路经济带的重要区域，21世纪以来，塔里木河流域人类活动强度显著提

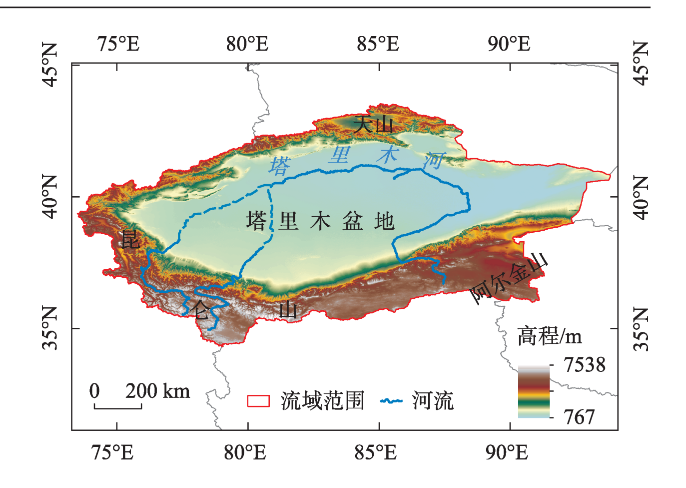
收稿日期：2024-06-13； **修订日期：**2024-09-08
基金项目：2024年度兵团科技计划项目(2024AB064)；塔里木大学校长基金(TDZKSS202328)；塔里木大学大学生创新训练计划项目(2024157)
作者简介：王洋(1997-)，女，硕士，讲师，主要从事生态系统服务评估. E-mail: wyspf85000@163.com
通讯作者：许丽. E-mail: 120050077@taru.edu.cn

高[16-17],耕地和建设用地的扩张以及草地的退化导致水土流失加剧[18]、景观生态风险上升[16]和生态系统服务价值下降[19],流域的生态安全受到威胁。基于此,本研究利用InVEST模型评估流域生境质量,并通过计算生境贡献率分析塔里木河流域土地利用变化对生境质量的响应机制,借助地理探测器分析生境质量的影响因素,并预测未来生境质量的时空格局,进一步推动塔里木河流域生态保护,助力流域生态文明建设和高质量发展。

1　数据与方法

1.1　研究区概况

塔里木河流域位于73°39′~93°45′E,34°20′~43°39′N,面积约102.70×10⁴ km²,其中沙漠面积达到37.04×10⁴ km²,形成了典型的封闭干旱荒漠生态系统(图1)。该区域属于干旱区典型大陆性暖温带气候,流域内地貌复杂多样,由山地、平原和沙漠三大地貌单元构成[20],土壤类型主要为水成型土壤和风沙土[21],植被种类单一,水资源大多来自冰川融雪,多年平均水资源量约429×10⁸ m³[22]。



注:底图采用国家地理信息公共服务平台标准地图制作,审图号为GS(2024)0650号,对底图边界无修改。下同。

图1　研究区概况示意图

Fig. 1　Overview of the study area

1.2　数据来源

使用的数据包括土地利用数据、社会经济数据、自然因素数据和区位数据,具体数据见表1。

1.3　研究方法

1.3.1　生境质量评价　生境质量(Habitat Quality, HQ)是指生态系统为个体和种群的生存提供适宜条件的能力,反映了生态环境对人类生存及社会经济持续发展的适宜程度[15,23]。InVEST模型Habitat Quality模块可用于评估塔里木河流域生境质量,该模块以土地利用类型为基础,依据各地类对动植物的生境适宜度和威胁因子的威胁强度来计算生境质量[11],计算公式如下:

$$Q_{xj} = H_j\left[1 - \left(\frac{D_{xj}^z}{D_{xj}^z + K^z}\right)\right] \tag{1}$$

式中:Q_{xj}为土地利用类型j中网格x的生境质量指数,取值范围为[0,1];H_j为土地利用类型j的生境质量适宜程度;D_{xj}为土地利用类型j中网格x的生境退化程度,计算方法可参考模型手册;K为半饱和常数。

根据相关研究成果[24-25],结合研究区实际概况,将耕地、建设用地和未利用地定义为威胁源,并设置相关参数(表2和表3)。

表1　数据来源

Tab. 1　Data sources

数据名称	数据来源	分辨率	预处理
土地利用数据	中国科学院资源与环境数据中心(https://www.resdc.cn)	1 km	经重分类后分为耕地、草地、林地、水域、建设用地、未利用地和沼泽
社会经济数据	中国科学院资源与环境数据中心(https://www.resdc.cn)	1 km	包括GDP和人口密度数据
月平均降水量数据	国家青藏高原科学数据中心(https://data.tpdc.ac.cn/home)	1 km	求和后得到2000年、2010年和2020年年平均降水量
月平均温度数据	国家青藏高原科学数据中心(https://data.tpdc.ac.cn/home)	1 km	求均值得到2000年、2010年和2020年年平均温度
DEM数据	地理空间数据云(https://www.gscloud.cn)	90 m	剪裁得到研究区DEM数据
坡度数据	-	1 km	利用ArcGIS坡度工具计算得到
区位数据	国家基础地理信息中心(https://www.ngcc.cn)	1 km	包括距主要公路距离和距主要河流距离数据,利用欧氏距离计算得到

表2 生境适宜度及敏感性参数

Tab. 2 Habitat suitability and sensitivity

地类名称	生境适宜度	耕地	建设用地	未利用地
耕地	0.35	0	0.7	0.45
林地	1	0.7	0.8	0.5
草地	0.8	0.65	0.75	0.7
水域	0.95	0.6	0.68	0.4
建设用地	0	0	0	0
未利用地	0.1	0.15	0	0
沼泽	0.4	0.53	0.5	0.3

表3 威胁因子及其胁迫强度

Tab. 3 Threat factors and their stress intensities

威胁因子	最大影响距离/km	权重	衰退类型
耕地	4	0.6	线性
建设用地	7	0.7	指数
未利用地	4	0.4	线性

1.3.2 地理探测器 地理探测器是检测目标变量的空间分异及驱动因素的方法，包括因子探测、交互探测、风险探测和生态探测四部分[26]。其中因子探测能够分析各驱动因素对生境质量空间分异的解释力，交互探测能够探讨不同因子共同作用下对生境质量的解释力是增强还是减弱[27]。因此，本研究从因子探测和交互探测角度分析塔里木河流域生境质量的影响因素，计算公式为：

$$q = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{L} N_k \sigma_k^2}{N\sigma^2} \qquad (2)$$

式中：q表示影响因子对生境质量的解释力，取值范围为[0,1]；L表示影响因素的分层；N_k和N分别表示层k和全区的单元数；σ^2和σ_k^2分别表示全区和层k的方差值。

选取高程、坡度、降水、温度、GDP、人口密度、距主要公路距离和距主要河流距离八个驱动因子，从地形、气候、社会经济和可达性四个维度探索塔里木河流域生境质量影响因素。

1.3.3 生境贡献率 生境贡献率是指某种地类转移前后导致生境质量发生变化的比率，可以衡量土地利用变化对生境质量的影响[28]，计算公式为：

$$R_{ij} = \frac{(Q_M - Q_N) \times S_i}{S} \times 100\% \qquad (3)$$

式中：R_{ij}表示土地利用类型i转化为地类j对生境质量的贡献率；Q_M和Q_N分别表示研究期内地类i转化为j过程中末期和初期的生境质量；S_i表示土地利用类型i变化的面积；S为研究区总面积。

1.3.4 PLUS模型 PLUS模型用于预测未来土地利用格局，主要由土地扩张分析策略（LEAS）和基于多类随机斑块种子的CA模型（CARS）组成[29]。基于2010年和2020年土地利用数据，利用LEAS模块提取2010—2020年各地类扩张部分，获取各地类扩张的发展概率，利用CARS模块预测不同情景下2030年土地利用结构，其中不同情景下的转移矩阵参考已有的研究成果[30–31]，各地类的邻域权重根据2010—2020年各地类扩张面积占总的扩张面积计算得到[32]。

2 结果与分析

2.1 土地利用变化

2000—2020年塔里木河流域土地利用类型以未利用地和草地为主，覆盖区域90%的面积（图2）。林地、草地和未利用地的面积持续下降，分别减少了735 km²、7507 km²和3741 km²，林地和草地主要分布在流域边缘，未利用地主要分布在流域中部的塔里木盆地；耕地和建设用地面积持续增加，分别增加了10545 km²和1170 km²，主要分布在塔里木河流域干流，水域呈斑块状分布在研究区南部。

由表4可知，2000—2010年草地转入和转出面积最大，分别为10529 km²和12949 km²，主要流入未利用地（5985 km²）和耕地（4072 km²），未利用地转出面积为9860 km²，主要流入草地（6162 km²）；2010—2020年草地转出的面积最大，主要流入耕地（4893 km²），耕地转入的面积最大，主要来源是草地和未利用地（1486 km²）。2000—2020年耕地和草地转入的面积较大，耕地的主要来源是草地（8471 km²），草地的主要来源是未利用地（6104 km²）；草地转出面积最大，未利用地次之，草地主要流入耕地和未利用地，未利用地主要流入草地和耕地。总体上，草地和未利用地之间的相互转化以及草地向耕地的单向转化是塔里木河流域土地利用类型转移的主要特征。

2.2 生境质量时空演变特征

2000—2020年塔里木河流域生境质量分别为0.3171、0.3163和0.3148，整体处于较低水平，与2000年相比，2020年生境质量下降了0.0023，表明塔里木河流域生态环境质量变差。根据数据的特点利用等分的方法，以0.2、0.4、0.6和0.8为间断点将生

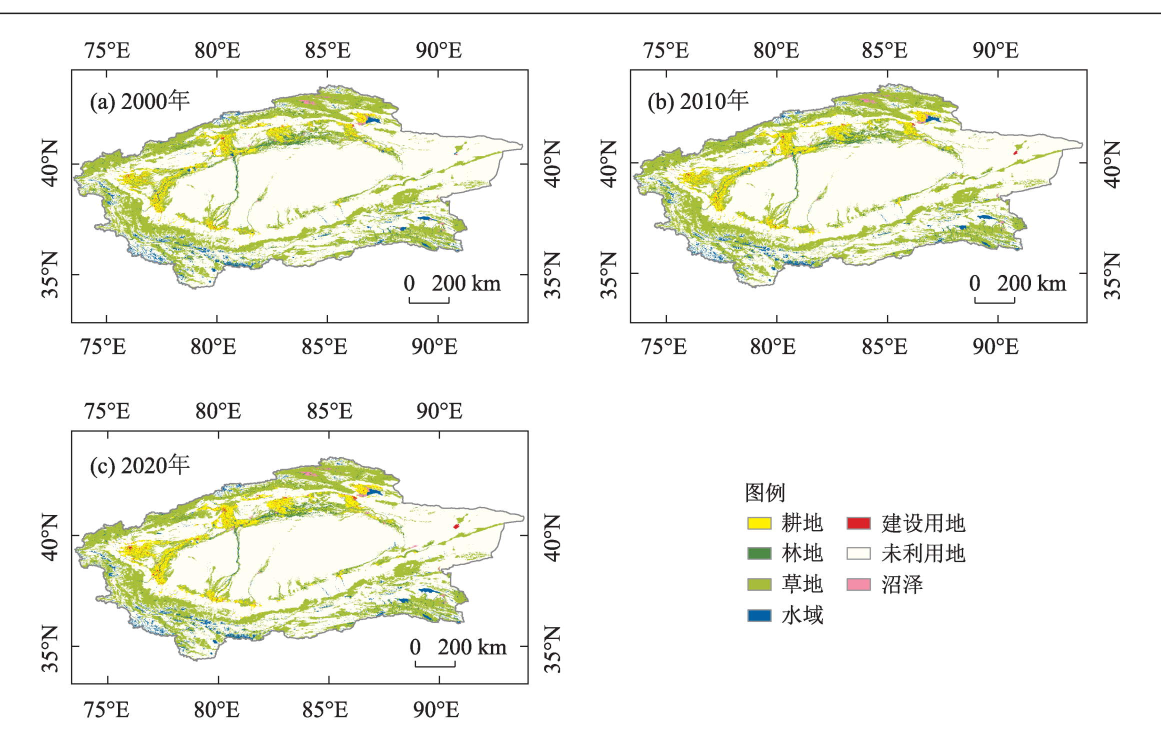


图2　塔里木河流域土地利用类型空间分布

Fig. 2　Spatial distribution of land use type in the Tarim River Basin

表4　塔里木河流域土地利用转移矩阵

Tab. 4　Land use transition matrix in the Tarim River Basin　　/km^2

时期	LUCC	耕地	林地	草地	水域	建设用地	未利用地	沼泽
2000—2010年	耕地	29169	397	1170	143	479	405	15
	林地	873	10676	1322	105	14	441	18
	草地	4072	1240	264549	1361	75	5985	216
	水域	246	102	1566	23229	58	1857	114
	建设用地	419	15	18	6	1453	32	0
	未利用地	1087	435	6162	1914	172	665831	90
	沼泽	86	72	291	242	0	61	2685
2010—2020年	耕地	35636	1	120	6	182	7	0
	林地	261	12649	1	12	13	0	1
	草地	4893	0	269613	378	138	8	50
	水域	23	1	148	26664	1	3	160
	建设用地	1	0	0	0	2550	0	0
	未利用地	1486	63	28	380	529	671933	193
	沼泽	23	0	81	105	0	0	2929
2000—2020年	耕地	29372	377	885	144	654	333	13
	林地	1135	10451	1281	113	23	428	18
	草地	8471	1212	259757	1680	215	5927	236
	水域	281	98	1608	23026	70	1825	264
	建设用地	416	15	12	6	1471	23	0
	未利用地	2533	489	6104	2261	680	663355	269
	沼泽	115	72	342	315	0	60	2533

境质量分为Ⅰ[0~0.2)、Ⅱ [0.2~0.4)、Ⅲ [0.4~0.6)、Ⅳ[0.6~0.8)、Ⅴ[0.8~1] 5个等级(图3),结果表明塔里木河流域生境质量呈现边缘高,中部低的特点,高等级生境质量主要分布在塔里木盆地边缘、天山山脉和昆仑山山脉附近,低等级生境质量主要分布在塔里木盆地。

2000—2020年各等级生境质量面积占比变化不大(表5),低等级生境质量向高等级生境质量转化的面积(20061 km²)小于高等级生境质量向低等级生境质量转化面积(36382 km²)(图4),进一步反映了塔里木河流域生境质量下降。从各研究期来看,2000—2010年Ⅰ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ等级生境质量面积占比下降,其中Ⅲ等级面积占比下降最多,为0.14%,主要转化为Ⅱ等级(1513 km²)和Ⅳ等级(1665 km²),Ⅱ等级面积占比上升0.38%,主要来源是Ⅳ等级(3249 km²)。2010—2020年Ⅰ、Ⅳ和Ⅴ等级面积占比分别下降0.17%、0.48%和0.02%,Ⅰ等级主要转化为Ⅱ等级(1680 km²),Ⅳ等级主要转化为Ⅱ等级(3470 km²)和Ⅲ等级(2093 km²),Ⅴ等级主要转化为Ⅳ等级(833 km²),Ⅱ等级和Ⅲ等级面积占比分别上升0.64%和

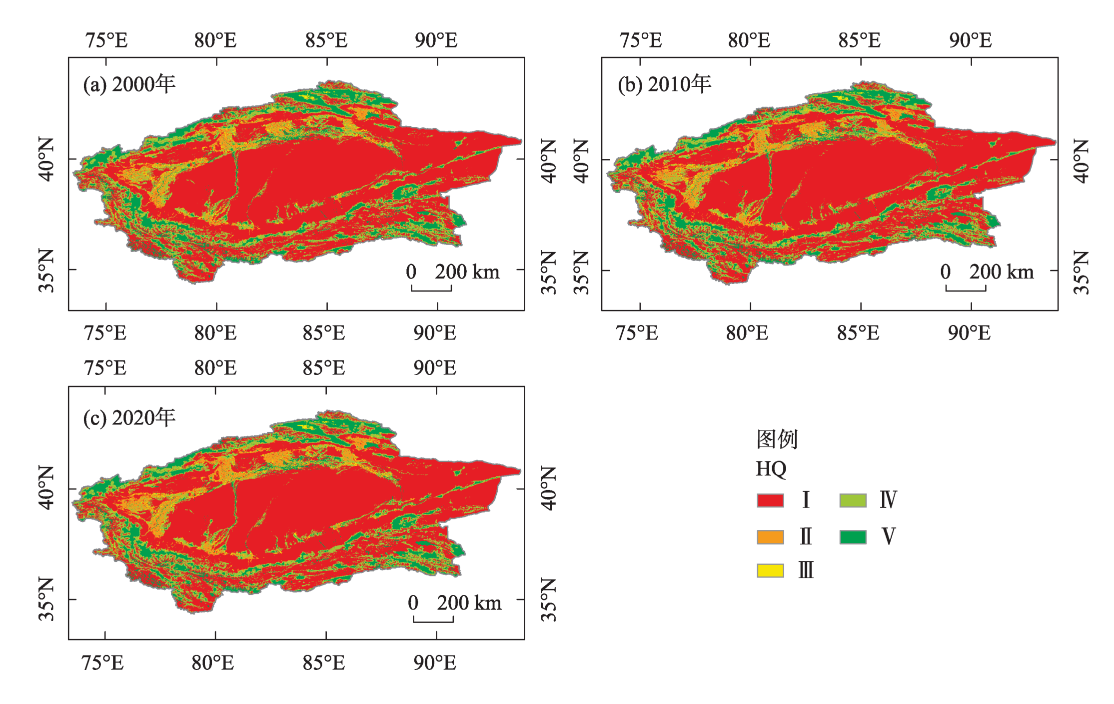


图3 生境质量空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of HQ

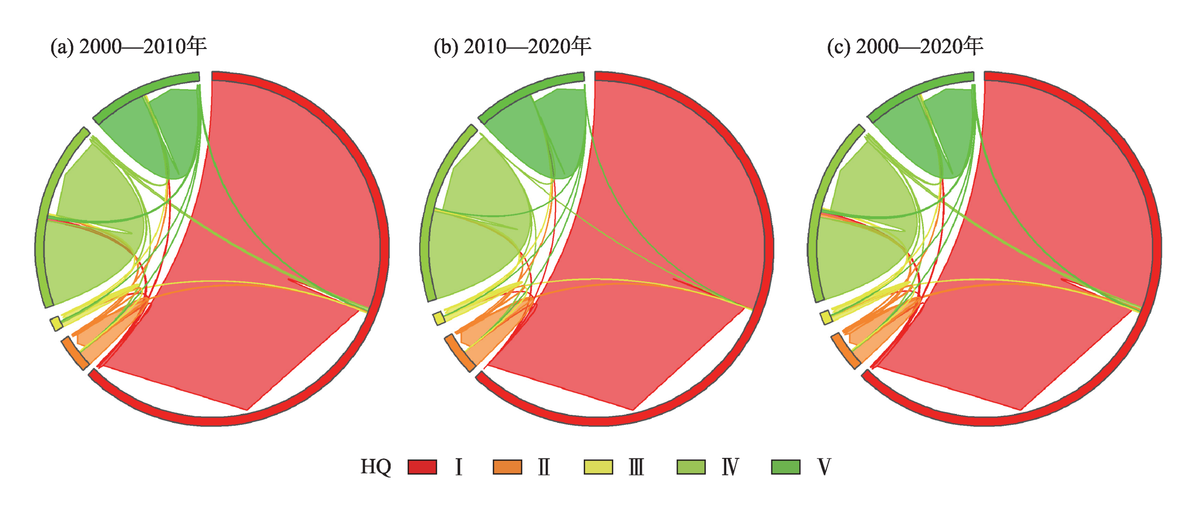


图4 各等级生境质量转移矩阵

Fig. 4 Habitat quality transfer matrix at each level

表5　各等级生境质量面积占比

Tab. 5　Proportion of habitat quality area of each grade

生境质量等级	面积占比/%		
	2000年	2010年	2020年
Ⅰ	65.73	65.65	65.48
Ⅱ	3.31	3.69	4.33
Ⅲ	1.28	1.14	1.17
Ⅳ	18.49	18.40	17.92
Ⅴ	11.19	11.12	11.10

0.03%。

2.3　土地利用变化对生境质量的贡献度

土地利用类型转移对生境质量变化的贡献率见图5,2000—2020年使生境质量提高的土地利用转移面积为48170 km^2,贡献率合计0.7938%,其中未利用地向草地转移的区域生境贡献率最高,达到0.3652%,其次是未利用地向水域的转化,转化面积为7495 km^2,贡献率为0.1811%。降低塔里木河流域生境质量的土地利用转移面积为982800 km^2,贡献率合计为-1.0207%,主要发生在水域、草地向未利用地转化以及草地向耕地转化的区域,转化面积分别为1825 km^2、5927 km^{2}和8471 km^2,生境贡献率分别为-0.1460%、-0.3557%和-0.2291%。总的来说,生态用地向威胁源转移引起生境质量下降,反之生境质量上升,其中未利用地向草地转化对流域生境质量提高贡献度最大,而草地向未利用地转化明显降低流域生境质量。

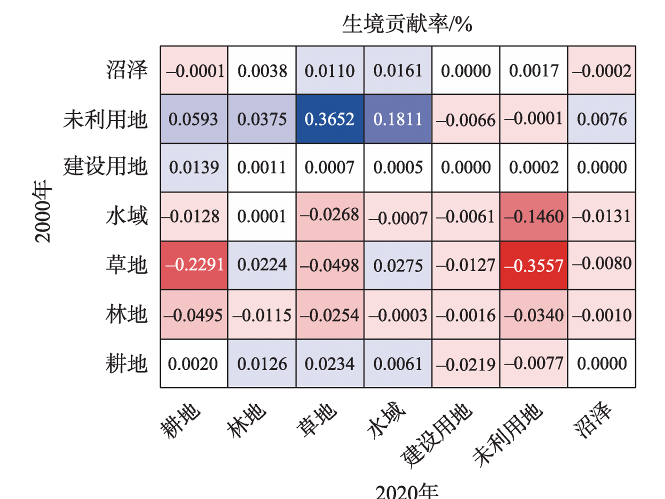


图5　生境贡献率

Fig. 5　Habitat contribution rate

2.4　生境质量空间分布影响因素

基于地理探测器探索影响生境质量的空间分布因素,得到单因子影响的解释力q值,2000—2020年各影响因子对生境质量空间分异的解释力强度大小为:高程(0.1644)>温度(0.1626)>降水(0.1090)>坡度(0.0982)>距主要公路距离(0.0156)>距主要河流距离(0.0114)>人口密度(0.0061)>GDP(0.0040),表明地形和气候因素对生境质量的影响不可忽视,其中高程的q值最大,温度和降水次之,GDP和人口密度的q值接近0,表明社会经济因素对该区域的生境质量空间分布解释力较小。

塔里木河流域双因子交互作用对生境质量的解释力见表6,双因子交互作用的解释力均大于单因子作用的解释力,表明塔里木河流域生境质量的空间分布是多因子共同作用的结果。高程与降水、温度、距主要公路距离以及坡度与温度的交互作用表现出较强的解释力,说明高程、温度、降水、坡度、距主要公路距离等地形、气候和可达性因素在一定程度上影响了土地利用类型的变化,进而影响了生境质量。具体来看,高程与降水交互作用的解释力最高,为0.2245,说明高程和降水的交互作用是影响塔里木河流域生境质量的主导因素。

表6　交互作用探测结果

Tab. 6　Interaction detection results

影响因素	高程	坡度	降水	温度	人口密度	GDP	距主要公路距离	距主要河流距离
高程	0.1644							
坡度	0.1870	0.0982						
降水	0.2245	0.1810	0.1090					
温度	0.2050	0.1939	0.2253	0.1626				
人口密度	0.1877	0.1143	0.1196	0.1858	0.0061			
GDP	0.1759	0.1057	0.1122	0.1734	0.0083	0.0040		
距主要公路距离	0.2002	0.1121	0.1569	0.2039	0.0201	0.0196	0.0156	
距主要河流距离	0.1825	0.1067	0.1270	0.1947	0.0205	0.0164	0.0416	0.0114

2.5 2030年生境质量预测

基于PLUS-InVEST模型预测得到2030年塔里木河流域三种情景下的生境质量，结果表明，在自然发展情景、生态保护情景和经济发展情景下塔里木河流域生境质量分别为0.3134、0.3155和0.3133，与2020年相比，生态保护情景下生境质量提升了0.0007，而其余两种情景下生境质量降低。塔里木河流域生境质量空间分布延续“边缘高，中部低”的格局（图6），相较2020年不同情景下生境质量变化的区域空间分布一致，但变化区域的面积不同，生境质量增加区域零星分布在水域附近，面积由大到小分别为：生态保护情景（8431 km²）、经济发展情景（8008 km²）、自然发展情景（7624 km²），生境质量减少区域主要分布在耕地向草地以及未利用地向草地过渡地带，面积由大到小分别为：自然发展情景（56764 km²）、经济发展情景（55843 km²）、生态保护情景（24991 km²）。三种情景中，与2020年相比，生态保护情景下生境质量增加，增加区域的面积最大，减少区域的面积最小，对塔里木河流域生态环境具有改善作用。

3 讨 论

土地利用变化是导致生境质量变化的重要原因之一，而区域土地利用变化又是人类活动、气候变化、自然条件等共同作用的结果[33]。构成生境质量威胁的因素包括建设用地、未利用地和耕地，这三类土地利用类型的面积变化直接影响生境质量的变化[34]。2000—2020年，塔里木河流域耕地和建设用地持续扩张，林地和草地等生态用地面积减少，土地利用结构发生剧烈变化，提高生境质量的土地利用转移面积小于降低生境质量的土地利用转移面积，因而2000年以来，塔里木河流域生境质量有所下降，这与喀什地区[24]和阿克苏地区[25]的研究结果一致。已有的研究表明，高程和降水的交互作用是影响流域生境质量空间分布的主要原因[29,35]，且生境质量高值区与土地利用类型高度关联，这与本文的结论基本一致。塔里木河流域边缘比中部生境质量高，由于该区域海拔较高，受地势的影响降水量相对较高，且夏季水资源较充沛，土地利用类型以林地和草地为主，促进了生物多样性和环境调节；而流域中部地势平坦，降水量少，水资源匮乏，不利于植被生长，以未利用地为主，这些增加了对生境质量的威胁。

未来在不进行生态保护的情景下，塔里木河流域生境质量延续既往演变规律，呈降低的趋势，生境质量减少的区域主要在耕地向草地过渡地带以及未利用地向草地过渡地带，且未利用地向草地转

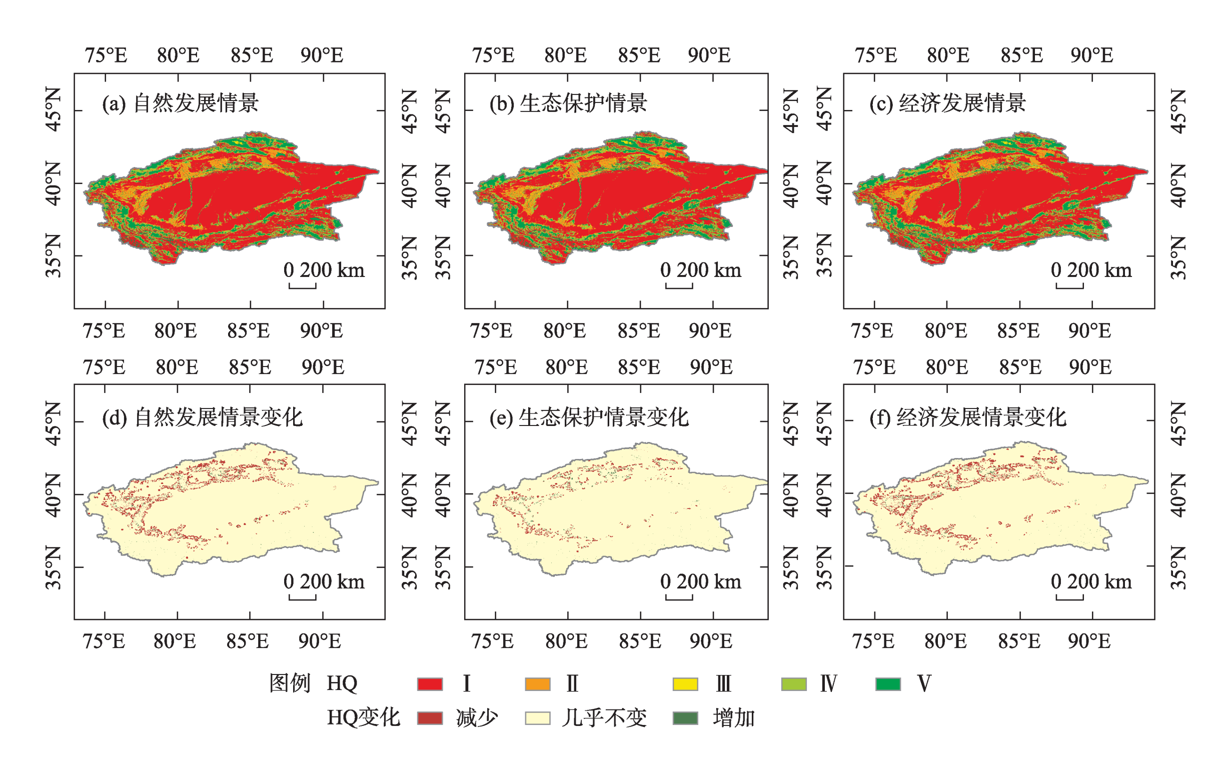


图6 2030年塔里木河流域不同情境下生境质量空间分布

Fig. 6 Spatial distribution of habitat quality in Tarim River Basin under different scenarios in 2030

移的生境贡献率最高,草地向未利用地转移的生境贡献率最低,因此,为了防止生境退化,未来需要继续巩固土地荒漠化防治的成果,在沙漠边缘建立防护林,大力发展草种业,结合相关政策开展草原及荒漠等的保护建设,此外,建议提高土地利用效率,守住耕地红线和生态保护红线,严控耕地盲目扩张,逐步提高草地等生态用地的面积占比。水资源的分配对干旱区内陆河流域土地利用类型影响较大,使得生境质量与水资源分布密切相关[17,36]。塔里木河流域生境质量增加的区域主要分布在水域边缘,维持该区域生态环境的稳定需要加强对该流域水资源的统一管理,以塔里木河为依托,构建水系生态廊道,发展节水集约化优势产业[37],推动水资源节约集约利用,实施流域生态治理工程并不断巩固生态环境保护成果[38]。

本文探讨了2000—2020年塔里木河流域生境质量与土地利用变化的响应及其驱动因素,并利用PLUS-InVEST模型预测未来生境质量,研究结果可为干旱区生态保护提供参考,然而,本研究也有一定的局限性。InVEST模型参数设置依赖于相似区域的研究成果,一定程度上具有主观性。此外,本研究评估生境质量的影响因素仅考虑到单因子和双因子共同作用,缺乏对区域生境质量影响因素的多重组合效应的研究,后续需结合野外调查结果及相关监测数据对参数进行优化,提高生境质量结果的精确性,进一步分析生境质量影响因素的多重组合效应。

4 结 论

通过InVEST模型、生境贡献率和地理探测器对塔里木河流域土地利用与生境质量的响应特征以及生境质量的影响因素进行研究,并应用PLUS模型预测未来生境质量,主要结论如下:

(1) 塔里木河流域以未利用地和草地为主,耕地和建设用地面积分别增加10545 km^2和1170 km^2,林地、草地和未利用地面积减少,土地利用转移以草地和未利用地之间的相互转化以及草地向耕地的单向转化为主。

(2) 2000—2020年,塔里木河流域生境质量分别为0.3171、0.3163和0.3148,整体生境质量变差,空间分布呈边缘高,中部低的特点。未利用地流入草地明显提高生境质量,草地流入未利用地降低生境质量。

(3) 塔里木河流域生境质量的影响因素主要是高程、温度和降水,高程与降水的交互作用是影响塔里木河流域生境质量空间分布的主要因素。

(4) 与2020年相比,生态保护情景下生境质量提升了0.0007,而自然发展和经济发展情景生境质量降低,空间分布均呈现边缘高,中部低的格局。

参考文献(References):

[1] 袁文华, 范文君, 李建春, 等. 黄河流域典型县域生境质量的时空分异特征及影响因素研究[J]. 生态与农村环境学报, 2024, 40(5): 622-633. [Yuan Wenhua, Fan Wenjun, Li Jianchun, et al. Research on the spatiotemporal differentiation characteristics and influencing factors of ecological quality in typical counties in the Yellow River Basin[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2024, 40(5): 622-633.]

[2] 智菲, 周振宏, 赵铭, 等. 基于InVEST和Geodetector模型的合肥生境质量时空演变及影响因素分析[J]. 河北环境工程学院学报, 2024, 34(3): 49-54. [Zhi Fei, Zhou Zhenhong, Zhao Ming, et al. Temporal and spatial evolution of habitat quality and influencing factors in Hefei city based on InVEST and Geodetector model [J]. Journal of Hebei University of Environmental Engineering, 2024, 34(3): 49-54.]

[3] Dai Limin, Li Shanlin, Lewis Bernard J, et al. The influence of land use change on the spatial-temporal variability of habitat quality between 1990 and 2010 in Northeast China[J]. Journal of Forestry Research, 2019, 30(6): 2227-2236.

[4] Xie B, Zhang M M. Spatio-temporal evolution and driving forces of habitat quality in Guizhou Province[J]. Scientific Reports, 2023, 13(1): 6908.

[5] 王佩, 李英杰, 袁家根, 等. 基于优化MaxEnt模型的原麝生境适宜性评价[J]. 野生动物学报, 2023, 44(1): 38-45. [Wang Pei, Li Yingjie, Yuan Jiagen, et al. Habitat suitability assessment for Moschus moschiferus based on optimized MaxEnt model[J]. Chinese Journal of Wildlife, 2023, 44(1): 38-45.]

[6] Zhu Y. Social value evaluation of ecosystem services in global geoparks based on SolVES model[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2022, 2022(1): 9748880.

[7] Liu Y X, Wang Y T, Lin Y W, et al. Habitat quality assessment and driving factors analysis of Guangdong Province, China[J]. Sustainability, 2023, 15(15): 11615.

[8] 张丹华, 王洋, 幺宁. 辽中南城市群城市化及生态效应[J]. 应用生态学报, 2022, 33(9): 2521-2529. [Zhang Danhua, Wang Yang, Yao Ning. Urbanization and ecological effect in mid-southern Liaoning urban agglomeration, China[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(9): 2521-2529.]

[9] Li T, Bao R, Li L, et al. Temporal and spatial changes of habitat quality and their potential driving factors in Southwest China[J]. Land, 2023, 12(2): 346.

[10] Bi M Y, Zhong Y X, Xiao Z P, et al. Spatial and temporal change of habitat quality of Poyang Lake Basin in China at Small Watershed[J]. Chinese Geographical Science, 2023, 33(3): 565-582.

[11] 张大智, 孙小银, 袁兴中, 等. 南四湖流域1980—2015年土地利用变化及其对流域生境质量的影响[J]. 湖泊科学, 2018, 30(2): 349-357. [Zhang Dazhi, Sun Xiaoyin, Yuan Xingzhong, et al. Land use change and its impact on habitat quality in Lake Nansi Basin from 1980 to 2015[J]. Journal of Lake Sciences, 2018, 30(2): 349-357.]

[12] 赵庆建, 吴晓珍. 基于InVEST模型的岷江流域土地利用变化对生境质量的影响研究[J]. 生态科学, 2022, 41(6): 1-10. [Zhao Qingjian, Wu Xiaozhen. Research on the impact of land use change on habitat quality in Minjiang River Basin based on InVEST model[J]. Ecological Science, 2022, 41(6): 1-10.]

[13] 魏文飞, 包玉, 王志泰, 等. 喀斯特多山城市生境质量对土地利用变化的时空响应——以贵阳市为例[J]. 生态学报, 2023, 43(10): 3920-3935. [Wei Wenfei, Bao Yu, Wang Zhitai, et al. Spatiotemporal responses of urban environment quality to land use change in mountainous cities of Karst areas[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(10): 3920-3935.]

[14] 韩宇, 毛逸飞, 杨伶, 等. 洞庭湖流域生境质量对LUCC的动态响应[J]. 中南林业科技大学学报, 2023, 43(6): 148-157. [Han Yu, Mao Yifei, Yang Ling, et al. Dynamic responses of habitat quality to LUCC in the Dongting Lake Basin[J]. Journal of Central South University of Forestry & Technology, 2023, 43(6): 148-157.]

[15] 赵依谷, 黄伟, 费秀超, 等. 基于MGWR模型的天目-怀玉山区生境质量对土地利用变化的响应[J]. 安徽农业大学学报, 2023, 50(3): 502-510. [Zhao Yigu, Huang Wei, Fei Xiuchao, et al. Responses of habitat quality to land use change in Tianmu-Huaiyu Mountains based on the MGWR model[J]. Journal of Anhui Agricultural University, 2023, 50(3): 502-510.]

[16] 杨荣钦, 肖玉磊, 池苗苗, 等. 近20 a塔里木河流域人类活动及景观生态风险时空变化[J]. 干旱区研究, 2024, 41(6): 1010-1020. [Yang Rongqin, Xiao Yulei, Chi Miaomiao, et al. Temporal and spatial variations of human activities and landscape ecological risks in the Tarim River Basin, China, during the last 20 years[J]. Arid Zone Research, 2024, 41(6): 1010-1020.]

[17] 王璐晨, 韩海辉, 张俊, 等. 塔里木河流域土地利用及人类活动强度的时空演化特征研究[J]. 中国地质, 2024, 51(1): 203-220. [Wang Luchen, Han Haihui, Zhang Jun, et al. Spatio-temporal evolution of land use and human activity intensity in the Tarim River Basin, Xinjiang[J]. Geology in China, 2024, 51(1): 203-220.]

[18] 刘雨曈. 塔里木河流域水土流失动态变化分析[J]. 水生态学杂志, 2022, 43(3): 105-112. [Liu Yutong. Soil alteration and water loss in the Tarim River Basin[J]. Journal of Hydroecology, 2022, 43(3): 105-112.]

[19] 常雪儿, 汪洋, 甄慧, 等. 1990—2018年新疆喀什噶尔河流域土地利用/覆被变化空间耦合及其生态效应[J]. 西南农业学报, 2022, 35(3): 596-607. [Chang Xue'er, Wang Yang, Zhen Hui, et al. Spatial couple of land use/cover changes and its consequence for ecological systems in Kaxgar River Basin in Xinjiang from 1990 to 2018[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2022, 35(3): 596-607.]

[20] 冉启云. 塔里木河流域地表水体时空变化特征探究及分析[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2017. [Ran Qiyun. Spatio-temporal Change Characteristics and Analysis of Surface Water Resources in the Tarim River Basin[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2017.]

[21] 阿里木·阿布都克然木. 人类活动影响下塔里木河流域土地利用变化与驱动力分析[J]. 水利技术监督, 2024(6): 116-120. [Alimu Abudukranmu. Analysis of land use changes and driving forces in the Tarim River Basin under the influence of human activities[J]. Technical Supervision in Water Resources, 2024(6): 116-120.]

[22] 克帕也木·尔肯. 基于水资源供给条件的塔里木河流域耕地规模分析[J]. 水利技术监督, 2023(10): 129-132. [Kepayemu Erken. Analysis and suggestions on the scale of cultivated land in the Tarim River Basin based on water resource supply conditions[J]. Technical Supervision in Water Resources, 2023(10): 129-132.]

[23] Cheng P, Min M, Zhao W, et al. Spatial difference pattern of habitat quality and mechanism of factors influencing in resource-based cities: a case study of Tangshan City, China[J]. Journal of Resources and Ecology, 2021, 12(5): 636-649.

[24] 师君银, 马勇刚, 许仲林. 喀什地区土地利用变化对生境质量的影响[J]. 西南农业学报, 2023, 36(11): 2480-2490. [Shi Junyin, Ma Yonggang, Xu Zhonglin. Impact of land use changes on habitat quality in Kashgar Region[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2023, 36(11): 2480-2490.]

[25] 王晓琴, 王宏卫, 谈波, 等. 新疆阿克苏地区景观格局与生境质量时空演变及影响机制[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2022, 43(6): 777-789. [Wang Xiaoqin, Wang Hongwei, Tan Bo, et al. Spatial-temporal evolution and influence mechanism of landscape pattern and habitat quality in Aksu Region of Xinjiang[J]. Journal of Huaqiao University(Natural Science), 2022, 43(6): 777-789.]

[26] 李文秀, 燕振刚. 基于地理探测器的甘肃农牧交错带土地利用时空演化及其驱动机制[J]. 干旱区研究, 2024, 41(4): 590-602. [Li Wenxiu, Yan Zhengang. Analysis of spatiotemporal evolution of land use and its driving mechanism in the agropastoral ecotone of Gansu Province using Geodetector[J]. Arid Zone Research, 2024, 41(4): 590-602.]

[27] 李鑫磊, 李瑞平, 王秀青, 等. 基于地理探测器的河套灌区林草植被覆盖度时空变化与驱动力分析[J]. 干旱区研究, 2023, 40

(4): 623-635. [Li Xinlei, Li Ruiping, Wang Xiuqing, et al. Spatio-temporal change and analysis of factors driving forest-grass vegetation coverage in Hetao Irrigation District based on geographical detector[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(4): 623-635.]

[28] 孙晓雨, 杨金明, 张家豪, 等. 五台山风景名胜区土地利用变化及其对生境质量的影响[J]. 自然保护地, 2024, 4(2): 124-140. [Sun Xiaoyu, Yang Jinming, Zhang Jiahao, et al. Impact of land use change on habitat quality in Mount Wutai Scenic Area[J]. Natural Protected Areas, 2024, 4(2): 124-140.]

[29] 张小瑜, 周自翔, 唐志雄, 等. 无定河流域生境质量时空变化及预测[J]. 中国沙漠, 2024, 44(3): 75-84. [Zhang Xiaoyu, Zhou Zixiang, Tang Zhixiong, et al. Spatio-temporal variation and prediction of habitat quality in Wuding River Basin[J]. Journal of Desert Research, 2024, 44(3): 75-84.]

[30] 付玮, 夏文浩, 樊童生, 等. 塔里木河流域生态系统碳储量的情景预测分析[J]. 干旱区地理, 2024, 47(4): 634-647. [Fu Wei, Xia Wenhao, Fan Tongsheng, et al. Scenario projection analysis of ecosystem carbon stocks in the Tarim River Basin[J]. Arid Land Geography, 2024, 47(4): 634-647.]

[31] 杨顺法, 昝梅, 袁瑞联, 等. 基于 PLUS 与 InVEST 模型的新疆碳储量变化及预测[J/OL]. 环境科学. https://doi.org/10.13227/j.hjkx. 202312272, 2024-06-12. [Yang Shunfa, Zan Mei, Yuan Ruilian, et al. Carbon stock changes and forecasting in Xinjiang based on PLUS and InVEST model approach[J/OL]. Environmental Science. https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202312272, 2024-06-12.]

[32] 糜毅, 李涛, 吴博, 等. 基于优化模拟的长株潭3+5城市群碳储量时空演变与预测[J]. 环境工程技术学报, 2023, 13(5): 1740-1751. [Mi Yi, Li Tao, Wu Bo, et al. Spatio-temporal evolution and prediction of carbon storage in Chang-Zhu-Tan 3+5 urban agglomeration based on optimization simulation[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2023, 13(5): 1740-1751.]

[33] 徐梦菲, 孙一帆, 汪霞. 郑州市土地利用/覆被变化与生境质量的时空演变及情景预测[J]. 水土保持通报, 2024, 44(2): 364-377. [Xu Mengfei, Sun Yifan, Wang Xia. Spatiotemporal evolution and scenario prediction of land-use/land-cover changes and habitat quality in Zhengzhou City[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(2): 364-377.]

[34] Zhang X, Zhou J, Li G, et al. Spatial pattern reconstruction of regional habitat quality based on the simulation of land use changes from 1975 to 2010[J]. Journal of Geographical Sciences, 2020, 30: 601-620.

[35] 王彤, 易桂花, 张廷斌, 等. 西南三江流域生境质量时空格局及其地形梯度效应[J]. 水土保持研究, 2023, 30(5): 306-314. [Wang Tong, Yi Guihua, Zhang Tingbin, et al. Spatial and temporal pattern of habitat quality and its topographic gradient effect in the Three-River Basin of Southwest China[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, 30(5): 306-314.]

[36] 王梓洋, 石培基, 李雪红, 等. 河西走廊地区生境质量对土地利用变化的响应机制及提升路径[J/OL]. 环境科学. https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202312250, 2024-08-11. [Wang Ziyang, Shi Peiji, Li Xuehong, et al. Response mechanism and promotion path of habitat quality to land use change in Hexi Corridor Area[J/OL]. Environmental Science. https://doi.org/10.13227/j.hjkx.202312250, 2024-08-11.]

[37] 吝静, 赵成义, 马晓飞, 等. 基于生态系统服务价值的塔里木河干流土地利用结构优化[J]. 干旱区研究, 2021, 38(4): 1140-1151. [Lin Jing, Zhao Chengyi, Ma Xiaofei, et al. Optimization of land use structure based on ecosystem service value in the mainstream of Tarim River[J]. Arid Zone Research, 2021, 38(4): 1140-1151.]

[38] 杨昕馨, 赵少军. 新疆塔里木河流域生态文明建设对策建议[J]. 地下水, 2023, 45(3): 251-253. [Yang Xinxin, Zhao Shaojun. Suggestions for the construction of ecological civilization in the Tarim River Basin of Xinjiang[J]. Ground Water, 2023, 45(3): 251-253.]

Response and influencing factors of habitat quality and land use change in the Tarim River Basin

WANG Yang, FENG Zhuoya, XU Li, GAO Wenxin

(College of Hydraulic and Architecture Engineering, Tarim University, Alar 843300, Xinjiang, China)

Abstract: Understanding the response characteristics and influencing factors of land use change to habitat quality is essential for establishing a scientific basis for ecological protection in arid regions. In this study, we used land use data, the InVEST model, habitat contribution rate, and a geographic detector to evaluate the response and influencing factors of land use changes and habitat quality. Additionally, we predicted habitat quality for 2030. The results showed the following: (1) The land use types were dominated by unused land and grassland. The cultivated and construction land areas expanded by 10545 km^2 and 1170 km^2, respectively, while forest land, grassland, and unused land decreased. (2) The overall habitat quality was low and exhibited a continuous downward trend. Spatial distribution was high at the edges and low in the center. Additionally, habitat quality in grasslands adjacent to unused land decreased significantly, while overall habitat quality increased significantly. (3) The spatial distribution of habitat quality was primarily influenced by elevation, temperature, and precipitation, with the interaction between elevation and precipitation having the strongest impact on habitat quality in the watershed. (4) By 2030, the ecological protection scenario will offer significant advantages over the natural and economic development scenarios, improving habitat quality. In the future, ecological protection will primarily focus on preventing and controlling desert expansion and protecting grassland and water resources.

Keywords: habitat quality; land use change; habitat contribution rate; geodetector; Tarim River Basin